

PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11)Publication number : 2004-334640

(43)Date of publication of application : 25.11.2004

(51)Int.Cl.

G06F 17/50

(21)Application number : 2003-131313

(71)Applicant : INSTITUTE OF PHYSICAL &
CHEMICAL RESEARCH

(22)Date of filing : 09.05.2003

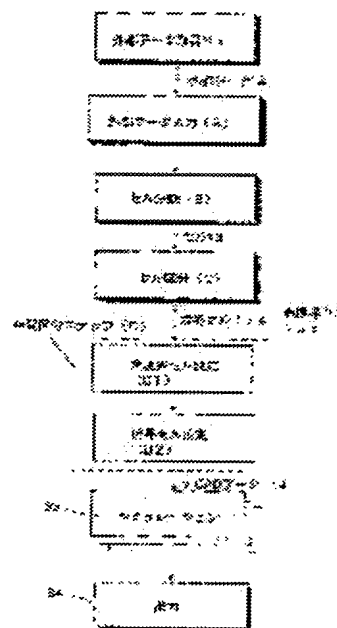
(72)Inventor : KATO MASAYA
KASE KIWAMU
YAMADA TOMONORI

(54) METHOD FOR IDENTIFYING MULTIMEDIA DATA AND ITS PROGRAM

(57)Abstract:

PROBLEM TO BE SOLVED: To provide an identification method and its program which is robust against the incomplete boundary information, and therefore able to perform identification even when there is any incomplete boundary information, whose processing speed is short and high-speed, which can be easily installed in a computer, which does not raise any fear that different spaces are classified into one space, and which can be applied to a multi-space.

SOLUTION: This method comprises an external data acquiring step (S1), external data input step (A), a cell dividing step (B), cell sectioning step (C), space sectioning step (D), simulation step (S3) and output step (S4). In the cell sectioning step (C), a boundary cell (13a) is sectioned into a cell having a cutting dot where its ridge line or vertex is cut with boundary data and a cell whose portion brought into contact with a cell in a different hierarchy is larger, and whose portion brought into contact with the cell in the different hierarchy has a cutting dot and a medium number is added to each cell vertex.



LEGAL STATUS

[Date of request for examination]

[Date of sending the examiner's decision of rejection]

[Kind of final disposal of application other than the examiner's decision of rejection or application converted registration]

[Date of final disposal for application]

[Patent number]

[Date of registration]

[Number of appeal against examiner's decision]

of rejection]

[Date of requesting appeal against examiner's
decision of rejection]

[Date of extinction of right]

Copyright (C); 1998,2003 Japan Patent Office

76825

JP 2004-334640 A 2004.11.25

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 公開特許公報(A)

(11) 特許出願公開番号

特開2004-334640

(P2004-334640A)

(43) 公開日 平成16年11月25日(2004.11.25)

(51) Int.Cl.⁷

G06F 17/50

F1

G06F 17/50

612J

G06F 17/50

622C

テーマコード(参考)

5B046

審査請求 未請求 請求項の数 7 O L (全 15 頁)

(21) 出願番号

特願2003-131313(P2003-131313)

(22) 出願日

平成15年5月9日(2003.5.9)

(71) 出願人

503359821

独立行政法人理化学研究所

埼玉県和光市広沢2番1号

(74) 代理人

100097515

弁理士 堀田 実

(72) 発明者

加藤 昌也

埼玉県和光市広沢2番1号 理化学研究所内

(72) 発明者

加瀬 究

埼玉県和光市広沢2番1号 理化学研究所内

(72) 発明者

山田 知典

埼玉県和光市広沢2番1号 理化学研究所内

Fターム(参考) 5B046 FA16 JA07

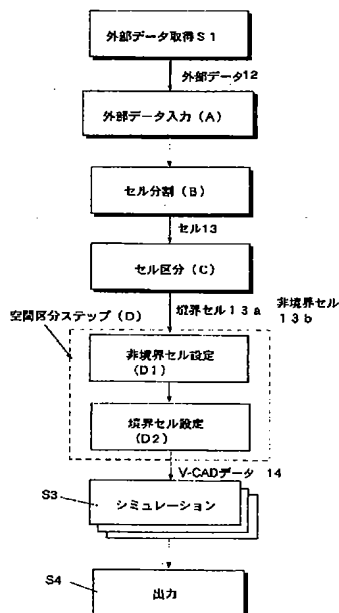
(54) 【発明の名称】 多媒質データの識別方法とそのプログラム

(57) 【要約】

【課題】境界情報の不備に対して頑健であり境界情報に不備があっても識別ができ、処理時間が短く高速であり、計算機への実装が容易であり、異なる空間が一つの空間に分類されてしまうおそれが少なく、多重空間にたいしても適用可能である識別方法とそのプログラムを提供する。

【解決手段】外部データ取得ステップ(S1)、外部データ入力ステップ(A)、セル分割ステップ(B)、セル区分ステップ(C)、空間区分ステップ(D)、シミュレーションステップ(S3)、及び出力ステップ(S4)とを有する。セル区分ステップ(C)において、境界セル(13a)を境界データで稜線または頂点が切断される切断点を持つセルと、異なる階層のセルが接する部分の大きいほうのセルで異なる階層のセルと接している部分に切断点が存在するセルとに区分し、かつセル頂点ごとに媒質番号を付ける。

【選択図】 図1



【特許請求の範囲】

【請求項 1】

コンピュータを用いたシミュレーション処理において、外部データ（12）の取得から該外部データを八分木分割処理過程を経て記憶されたセルデータの記憶と該セルデータを用いたシミュレーション処理までの一連の処理であって、対象物（1）の境界データと物性値からなる外部データ（12）を取得する外部データ取得ステップ（S1）と、該外部データ（12）をコンピュータに入力する外部データ入力ステップ（A）と、前記外部データを境界平面が直交する直方体セル（13）に分割するセル分割ステップ（B）と、分割された各セルを境界データを含む境界セル（13a）と境界データを含まない非境界セル（13b）とに区分するセル区分ステップ（C）と、前記各セルの各頂点を境界データで仕切られた複数の空間に区分する空間区分ステップ（D）と、前記各セル毎の物性値を用いてシミュレーションを行うシミュレーションステップ（S3）と、その結果を出力する出力ステップ（S4）とを有し、

前記セル区分ステップ（C）において、境界セル（13a）を境界データで稜線または頂点が切断される切断点を持つセルと、異なる階層のセルが接する部分の大きいほうのセルで異なる階層のセルと接している部分に切断点が存在するセルとに区分し、かつセル頂点ごとに媒質番号を付ける、ことを特徴とする多媒質データの識別方法。

【請求項 2】

前記空間区分ステップ（D）は、境界データで仕切られた空間毎に異なる空間番号を全ての非境界セルに設定する非境界セル設定ステップ（D1）と、境界セルの各頂点を境界データで仕切られない隣接する非境界セルの空間番号に設定する境界セル設定ステップ（D2）とからなる、ことを特徴とする請求項 1 に記載の多媒質データの識別方法。

【請求項 3】

前記境界セル設定ステップ（D2）において、境界データと一致する頂点を隣接する 2 つ非境界セルの空間番号のいずれかに設定する、ことを特徴とする請求項 2 に記載の多媒質データの識別方法。

【請求項 4】

前記セル分割ステップ（B）において、直方体セル（13）を外部データに含まれる境界面を構成する境界形状要素が再構成できる十分な切断点を得られるまで、八分木分割により再分割する、ことを特徴とする請求項 1 に記載の多媒質データの識別方法。

【請求項 5】

前記セル分割ステップ（B）において、ボクセルデータを同一の大きさの直方体セル（13）に分割する、ことを特徴とする請求項 1 に記載の多媒質データの識別方法。

【請求項 6】

前記非境界セル設定ステップ（D1）は、X、Y、Z の 3 方向に対して順に繰返し、或いは再帰的な処理により、前記直方体セル（13）の全てを順に走査する、ことを特徴とする請求項 2 に記載の多媒質データの識別方法。

【請求項 7】

計算機を用いて、対象物の境界データからなる外部データ（12）を入力する外部データ入力ステップ（A）と、前記外部データを境界平面が直交する直方体セル（13）に分割するセル分割ステップ（B）と、分割された各セルを境界データを含む境界セル（13a）と境界データを含まない非境界セル（13b）とに区分するセル区分ステップ（C）と、前記各セルの各頂点を境界データで仕切られた複数の空間に区分する空間区分ステップ（D）とを実施するための多媒質データの識別プログラム。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】

本発明は、2 次元又は 3 次元の境界面の内側か外側かを判定する多媒質データの識別方法とそのプログラムに関する。

【0002】

【従来の技術】

研究開発・技術開発の現場において、CAD (Computer Aided Design)、CAM (Computer Aided Manufacturing)、CAE (Computer Aided Engineering)、CAT (Computer Aided Testing) などが、それぞれ設計、加工、解析、試験のシミュレーション手段として用いられている。

【0003】

また、連続的なシミュレーションであるC-Simulation (Cooperative Simulation)、加工プロセスも考慮したA-CAM (Advanced CAM)、究極の精度が出せるD-fabrication (Deterministic fabrication) なども、普及しつつある。

10

【0004】

上述した従来のシミュレーション手段では、対象物の境界面は重要な意味をもち、例えば、対象物を境界で表現し、境界面の内部は一様に扱うようなことが広く行われる。このような場合、2次元又は3次元の境界面の内側か外側かを判定する識別方法が必要となる。

【0005】

従来の内外判定方法としては、(1) 光線交差法、(2) 境界追跡を用いた領域成長 (拡張) 法、(3) 画像処理におけるラスタ追跡、(4) 多方向追跡、(5) Curlessの方法、(6) 八分木を使ったSzelińskiの方法やPulliの方法、及び特許文献1、特許文献2等が知られている。また本発明に関連する特許文献3、特許文献4が出

20

【0006】

【特許文献1】

特開平9-81783号公報

【0007】

【特許文献2】

特開平8-153214号公報

【0008】

【特許文献3】

特開2002-230054号公報

30

【0009】

【特許文献4】

特願2002-142260号、未公開

【0010】

【発明が解決しようとする課題】

(1) の領域成長 (拡張) 法 (Ray crossings method) は、入力境界面がある場合にある点から発した光線 (半直線) と境界との交点が偶数か奇数かで、偶数だと光線の視点は物体の外部、奇数だと物体の内部と判別するものである。かかる領域成長 (拡張) 法は、たとえば、"Computational geometry in C second edition" (J. O'Rourke, p. 246, Cambridge University Press, 1998.) に開示されている。

40

【0011】

領域成長 (拡張) 法は、光線がたまたま境界と接する場合には、重根となるために本来2つあるはずの交点が一つになってしまうため適用できず、境界情報に不備 (CADデータなどで異なるソフトウェアから読み込む場合に表現の仕方の違いや、数値誤差の要因からデータの欠落が起こるがある) の場合にも適用できないという問題があった。

(2) 境界情報のみが与えられた画像処理における境界追跡を用いた領域成長 (拡張) 法は、例えば、「デジタル画像処理」(Rosenfeld & Kak 長尾訳、近代科学社、pp. 353~357) に開示されているが、処理が全体に及ぶために遅くなること、および表面情報に不備があると識別が正しくできないなどの問題があった。

50

(3) 画像処理におけるラスタ追跡は、同「ディジタル画像処理」、p. 334に開示されており、X軸など座標軸に沿ってセルを走査しながら境界や境界にはさまれる領域を追跡してゆく方法であるが、やはり不備（閉曲面となっていない）のある境界情報を量子化した画像とした場合には正しく識別ができない。

(4) これを回避する方法として多方向追跡（同p. 332）もあるが効率が低い。

(5) リバースエンジニアリング（測定点群から表面情報を再構築する方法）の分野におけるCurlessの方法は、規則的に並んだ測定点と測定対象に対する複数のカメラの方向などの外部的な情報を用いて、距離に基づく陰関数を場全体で定義して、表面情報を再構築する頑健な方法であり、"A volumetric method for building complex models from range images" (B. Curless and M. Levoy, In Proceedings of SIGGRAPH '96, pages 303-312, August 1996)に開示されている。 10

しかしCurlessの方法は、全てのセルにおける距離場計算をしなくてはならない点で、データ量と計算時間のデメリットがある。またセルのサイズより薄い構造や鋭角な面において距離関数が正しく計算できないなどの精度上の問題も指摘されている。これは識別においても誤判断を招くものである。

(6) 八分木を使ったSzeliskiの方法(R. Szeliski, "Rapid octree construction from image sequences")やPulliの方法("Robust meshes from multiple range maps." K. Pulli, T. Duchamp, H. Hoppe, J. McDonald, L. Hapiro, W. Stuetzle. Proceedings of International Conference on Recent Advances in 3-D Digital Imaging and Modeling, May 1997, pages 205-211.)も幾つか取得した対象のレンジデータ（距離データ）と空間を八分木で分割したセルとの関係を内部、外部、境界の3つに分類して境界を再構築する方法である。これらの方法では、投影（projection）操作を各セルにおいて用いているために、処理が煩雑、時間がかかる、ひいては投影操作における計算の不安定性の問題がある。 20

特許文献1の「有限要素モデル処理システム及びその方法」は、判定対象の分割要素の面積と、該分割要素の各辺の節点と判定対象の節点とを頂点とする各3角形の面積の和とが一致するかを判定するものである。しかし、この方法は、境界情報に不備がある場合に適用できないという問題があった。 30

特許文献2は、ボクセルを用いて内外判定を行う方法であるが、階層化に対応していない、データの反転処理を用いるため2媒質しか対応できない、という制限があった。

特許文献4の「境界データの内外判定方法とそのプログラム」は、データの保持形式が特許文献3に記述されている「1つのセルあたり最大2媒質まで」に準じているため、全体としては多媒質対応にはなっているものの1セルでみると最大2媒質までしか扱うことができない。そのため、多媒質を扱う上で必要となってくる3媒質以上が接している状態を表現する際に、その部分を条件に合うように必要以上に細かく分割せざるを得なかったり、それでもなお正確に表現できない場合が出てくるといった問題があった。 40

本発明は上述した問題点を解決するために創案されたものである。すなわち、本発明の目的は、境界情報の不備に対して頑健であり境界情報に不備があっても識別ができ、処理時間が短く高速であり、計算機への実装が容易であり、異なる空間が一つの空間に分類されてしまうおそれが少なく、多重空間にたいしても適用可能である識別方法とそのプログラムを提供することにある。

【0012】

これによって、(1) 構造解析、大変形解析、熱・流体解析、流動解析、除去加工、付加工、変形加工のシミュレーション、(2) 人体などの生体と人工物が混在するもののシミュレーション、検査、人工物に対する設計、加工、(3) 地殻や建造物などの自然物と 50

人工物が混在する場合の設計、解析、加工、組立て、検査など様々な応用が可能となる。

【0013】

【課題を解決するための手段】

本発明によれば、コンピュータを用いたシミュレーション処理において、外部データ（12）の取得から該外部データを八分木分割処理過程を経て記憶されたセルデータの記憶と該セルデータを用いたシミュレーション処理までの一連の処理であって、対象物（1）の境界データと物性値からなる外部データ（12）を取得する外部データ取得ステップ（S1）と、該外部データ（12）をコンピュータに入力する外部データ入力ステップ（A）と、前記外部データを境界平面が直交する直方体セル（13）に分割するセル分割ステップ（B）と、分割された各セルを境界データを含む境界セル（13a）と境界データを含
10
まない非境界セル（13b）とに区分するセル区分ステップ（C）と、前記各セルの各頂点を境界データで仕切られた複数の空間に区分する空間区分ステップ（D）と、前記各セル毎の物性値を用いてシミュレーションを行うシミュレーションステップ（S3）と、その結果を出力する出力ステップ（S4）とを有し、

前記セル区分ステップ（C）において、境界セル（13a）を境界データで稜線または頂点が切断される切断点を持つセルと、異なる階層のセルが接する部分の大きいほうのセルで異なる階層のセルと接している部分に切断点が存在するセルとに区分し、かつセル頂点ごとに媒質番号を付ける、ことを特徴とする多媒質データの識別方法が提供される。

また、本発明によれば、計算機を用いて、対象物の境界データからなる外部データ（12）を入力する外部データ入力ステップ（A）と、前記外部データを境界平面が直交する直
20
方体セル（13）に分割するセル分割ステップ（B）と、分割された各セルを境界データを含む境界セル（13a）と境界データを含まない非境界セル（13b）とに区分するセル区分ステップ（C）と、前記各セルの各頂点を境界データで仕切られた複数の空間に区分する空間区分ステップ（D）とを実施するための多媒質データの識別プログラムが提供される。

上記本発明の方法とそのプログラムによれば、セル分割ステップ（B）ですべての外部データ（12）を境界平面が直交する直方体セル（13）に分割し、セル区分ステップ（C）で分割された各セルを境界セル（13a）と非境界セル（13b）とに区分するので、外部データ（12）は仮に境界情報の不備があっても、必ず境界セル（13a）又は非境界セル（13b）に区分される。
30

【0014】

また、直方体セル（13）は、元の境界データに比べて大きいので、境界データの一部（例えば1点）のみを含むものを境界セル（13a）とすることにより、境界データは必ず境界セル（13a）に含まれる。更に、データの欠落等、境界情報に不備があっても、その欠落の大きさが直方体セル（13）の大きさより小さい限り、欠落を含む境界データも必ず境界セル（13a）に含まれる。

【0015】

したがって本発明の方法とそのプログラムは、境界情報の不備に対して頑健であり境界情報に不備があっても識別ができる。

【0016】

さらに異なる階層のセルが接する部分の大きいほうのセルで異なる階層のセルと接している部分に切断点が存在するセル（つなぎセル）を設けることにより、階層差の生じる部分において境界の不整合を起こすことなく必要な部分だけを細分割することが可能となり、必要メモリの増大を抑制し高速処理を可能にできる。
40

【0017】

また、セル頂点ごとに媒質番号を付けるため、より詳細な識別が可能となる。本発明の好ましい実施形態によれば、前記空間区分ステップ（D）は、境界データで仕切られた空間毎に異なる空間番号を全ての非境界セルに設定する非境界セル設定ステップ（D1）と、境界セルの各頂点を境界データで仕切られない隣接する非境界セルの空間番号に設定する境界セル設定ステップ（D2）とからなる。
50

この方法によれば、直方体セル（１３）の全てに対して、非境界セル設定ステップ（Ｄ１）と境界セル設定ステップ（Ｄ２）を１回ずつ行うだけで、すべてのセルの各頂点を境界データで仕切られた複数の空間に区分することができる。

【００１８】

従って、セル数 n が大きい場合でも、処理時間は $O(n)$ のオーダー（ n に比例）するのみであり、高速処理ができる。

【００１９】

また、計算手順がシンプルであり、プログラム化や計算機への実装が簡単である。

【００２０】

更に、境界セル（１３ａ）で仕切られた複数の空間には異なる空間番号 k が付けられるので、異なる空間が一つの空間に分類されてしまうおそれが少なく、多重空間にたいしても適用可能である。

また、前記境界セル設定ステップ（Ｄ２）において、境界データと一致する頂点を隣接する２つ非境界セルの空間番号のいずれかに設定する。

【００２１】

これにより２つ非境界セルに含まれる境界データと一致する頂点を、いずれかの空間番号に設定し、セルのすべての頂点をそれぞれ単一の空間に区分することができる。

また、前記セル分割ステップ（Ｂ）において、直方体セル（１３）を外部データに含まれる境界面を構成する境界形状要素が再構成できる十分な切断点を得られるまで、八分木分割により再分割し、

前記セル区分ステップ（Ｃ）において、境界セル（１３ａ）を境界データで稜線または頂点が切断される切断点を持つセルと、異なる階層のセルが接する部分の大きいほうのセルで異なる階層のセルと接している部分に切断点が存在するセルとに区分する、ことが好ましい。

この方法により、八分木分割することにより、 $V-CAD$ データに適用することができ、また、前記セル分割ステップ（Ｂ）において、ボクセルデータを同一の大きさの直方体セル（１３）に分割する、ことが好ましい。

【００２２】

この方法により、等分割することにより、通常のボクセルデータを扱うこともできる。前記非境界セル設定ステップ（Ｄ１）は、 X 、 Y 、 Z の３方向に対して順に繰返し、或いは再帰的な処理により、前記直方体セル（１３）の全てを順に走査する。

【００２３】

ボクセルデータの場合には、 X 、 Y 、 Z の３方向に対して順に繰返すことにより、 $V-CAD$ データの場合には、再帰的な処理により、直方体セル（１３）の全てを順にもれなく走査することができる。

【００２４】

【発明の実施の形態】

以下、本発明の好ましい実施形態を図面を参照して説明する。

本発明の発明者等は、先に、「形状と物性を統合した実体データの記憶方法」を創案し出願している（特許文献３）。この方法は、形状と物性を統合した実体データを小さい記憶容量で記憶することができ、これにより、物体の形状・構造・物性情報・履歴を一元的に管理し、設計から加工、組立、試験、評価など一連の工程に関わるデータを同じデータで管理することができ、 CAD とシミュレーションを一元化することできる実体データの記憶方法に関するものである。この方法によるデータを「 $V-CAD$ データ」と呼び、このデータを用いた設計やシミュレーションを「ボリューム CAD 」又は「 $V-CAD$ 」と呼ぶ。

本発明の多媒質データの識別方法は、 $V-CAD$ データへ適用するのに特に適しているが、これに限定されず、通常のボクセルデータにも同様に適用することができる。

初めに本発明における用語を説明する。

【００２５】

10

20

30

40

50

入力としての境界（表面）データがあるときにボクセルや八分木のオクタントなどの3次元空間を分割する直方体の表面およびその内部の領域を「セル（cell）」とよび、セルに対して表面の情報を保持させる場合のセルを「境界セル（boundary cell）」、表面の情報をもたないセルを「非境界セル（non-boundary cell）」（特許文献3では「内部セル（inner cell）」）とよぶ。

【0026】

なお、後述するように、本発明では、境界セルを本来の境界セルとつなぎセルに区分する。

対象としている3次元空間は有限の広がりを持つもの（「ボリューム世界（volume world）」または単に「世界（world）」と呼ぶ）とし、世界は境界セルと非境界セルの2種類のうちどちらかで隙間なく、かつセルの内部の広がり重複なく覆われている（胞複体（cell complex））。言い換えると、境界セルはセルを構成するセルの内部、およびセルの境界である面、稜、頂点のどれかに入力境界データとの交点があるものであり、そうでないものは全て非境界セルである。隣接するセルどうしはその種類を問わずセル境界のみを共有している。2次元多様体を境界としてもつ3次元の内部が詰まった物体を「空間」と呼ぶ。それぞれの空間は互いに連結でない場合は異なる空間として認識される。したがって閉曲面で表現される境界（表面）で囲まれた部分（点集合）を指し、現実世界ではおなじ材質の物体を限定する単位として用いる。逆に異なる空間を区別する境を「境界（boundary：数学で用いられる境界と同じ定義）」もしくは「表面」と呼ぶ。

図1は、本発明の多媒質データの識別方法のフロー図である。この図に示すように、本発明の方法は、コンピュータを用いた構造解析、大変形解析、熱・流体解析、流動解析、除去加工、付加加工、又は変形加工のシミュレーション処理において、外部データ（12）の取得から該外部データを八分木分割処理過程を経て記憶されたセルデータの記憶と該セルデータを用いたシミュレーション処理までの一連の処理であり、外部データ取得ステップ（S1）、外部データ入力ステップ（A）、セル分割ステップ（B）、セル区分ステップ（C）、空間区分ステップ（D）、シミュレーションステップ（S3）及び出力ステップ（S4）からなる。

外部データ取得ステップ（S1）では、対象物1の境界データと物性値からなる外部データ12を取得する。

【0027】

外部データ入力ステップ（A）では、外部データ取得ステップS1で取得した対象物1の境界データと物性値からなる外部データ12を本発明の方法を記憶したコンピュータ等に入力する。セル分割ステップ（B）では、外部データ12を境界平面が直交する直方体セル13に分割する。直方体セル13は直方体セルの他、立方体セルでもよい。

【0028】

セル区分ステップ（C）では、分割された各セルを境界データを含む境界セル13aと境界データを含まない非境界セル13bとに区分する。境界セル13aには後述するつなぎセルを含める。

【0029】

空間区分ステップ（D）では、各セル13の各頂点を境界データで仕切られた複数の空間に区分する。

【0030】

シミュレーションステップ（S3）では、各セル毎の物性値を用いて、例えば、設計・解析・加工・組立・試験等のシミュレーションを行う。出力ステップ（S4）ではシミュレーションの結果を、例えばプリンタや外部NC装置等に出力する。

本発明の方法を、V-CADデータへ適用する場合には、セル分割ステップ（B）において、直方体セル13を外部データに含まれる境界面を構成する境界形状要素が再構成できる十分な切断点を得られるまで、八分木分割により再分割し、セル区分ステップ（C）において、境界セル13aを境界データで稜線または頂点が切断される切断点を持つセルと

10

20

30

40

50

、異なる階層のセルが接する部分の大きいほうのセルで異なる階層のセルと接している部分に切断点が存在するセルとに区分し、かつセル頂点ごとに媒質番号を付ける。

【0031】

また、通常のボクセルデータに適用する場合には、セル分割ステップ（B）において、同一の大きさの直方体セル13に分割する。

図2は2次元における空間区分ステップ（D）の模式図である。図1及び図2に示すように、空間区分ステップ（D）は、非境界セル設定ステップ（D1）と境界セル設定ステップ（D2）とからなる。

【0032】

非境界セル設定ステップ（D1）では、境界データ11で仕切られた空間毎に異なる空間番号を全ての非境界セル13bに設定する。空間番号Kは、例えば1、2、3・・・の整数であり、小さい順に用いるのがよい。

【0033】

またこのステップ（D1）では、X、Y、Zの3方向に対して順に繰返し、或いは再帰的な処理により、直方体セル13の全てを順に走査する。この走査中に境界セル13aを通過する場合には、異なる空間番号（例えば $K = K + 1$ ）を設定する。また走査中に境界データで仕切られない隣接するセルに空間番号が設定されている場合には、小さい方の空間番号に設定しなおすのがよい。

【0034】

境界セル設定ステップ（D2）では、境界セル13aの各頂点を境界データで仕切られない隣接する非境界セル13bの空間番号に設定する。また、このステップ（D2）において、境界データと一致する頂点を隣接する2つ非境界セルの空間番号のいずれかに設定する。

非境界セル設定ステップ（D1）は、通常のボクセルデータに適用する場合には、X、Y、Zの3方向に対して順に繰返す。また、V-CADデータへ適用する場合には、再帰的な処理により、直方体セル13の全てを順に走査する。

入力データとして、空間の境界情報と世界を分割するための最小の分解能を必要とする。境界情報は、変換や計算の結果、部分的に情報の欠落しているようなケースも許すものとする。

【0035】

外部から入力する外部データ12は、多面体を表すポリゴンデータ、有限要素法に用いる四面体又は六面体要素、3次元CAD又はCGツールに用いる曲面データ、或いはその他の立体の表面を部分的な平面や曲面で構成された情報で表現するデータである。

【0036】

外部データ12は、このようなデータのほかに、V-CAD独自のインターフェースにより人間の入力により直接作成されたデータと、（2）測定機やセンサ、デジタルなどの表面のデジタルデータや、CTスキャンやMRI、および一般的にVolumeレンダリングに用いられているボクセルデータなどの内部情報ももつVolumeデータであってもよい。

出力データは、空間ごとに異なるラベルがつけられた2次元多様体の境界と最小の空間分解能以上のサイズのセルからなるV-CADデータである。このV-CADデータは、境界を直接的に持つセル（境界セル）と持たないセル（非境界セル）で充填された全空間を有する。

図2において、「ラベル」は空間を区別するための番号（空間番号）として用いている。また、予めセルの種類（境界セルまたは内部セル）はセル区分ステップ（C）において判定されている。これは個々のセルの内部（セルの境界も含む）と入力である境界情報との交わりがあるかどうかで簡単に判別できる。

上述した本発明の方法は、セル単位の処理で、先に内部セルのみを頂点、稜、面隣接で辿れる範囲を全て同じ空間とする方法であり、境界セルによって完全に囲まれない限り同じ空間となる。したがって以下の特徴がある。

【0037】

(1) 領域成長法による識別に比べて局所処理で済むので頑健である、境界情報 (surface) を使う光線交差法と比べても境界情報に不備があっても識別ができるので頑健である。

【0038】

(2) 画像処理の境界追跡を用いる領域成長法に比べて高速である (セルの数を n とすると処理時間は $O(n)$ のオーダー) となる。

【0039】

(3) 実装が簡単である。

【0040】

(4) 安全側 (異なる空間が混ざる (一つの空間) に分類されてしまうことのない。

【0041】

(5) 局所的な情報を使って境界セルに囲まれるまで成長するので多空間 (多重空間) (境界セルとしては非多様体的な接続) にたいしても適用可能である。

【0042】

【実施例】

以下、本発明の実施例を説明する。

【0043】

図3は、セルの種類と切断点の位置付けを示す図である。この図において、四角1つがセルを示している。ここでは大きいセルと小さいセルで2階層を表現している。また黒丸●が切断点、黒丸を結ぶ線がKTC面 (セル内面) すなわち境界データを示している。

(セルの種類)

セルの種類は、非境界セル、境界セル及びつなぎセルに区別される。

【0044】

「非境界セル」は、切断点を1つも持たないセルをいう。また、「境界セル」は、切断点を1つ以上持つセルをいう。更に「つなぎセル」は、異なる階層のセルが接する部分の大きいほうのセルで異なる階層のセルと接している部分に切断点が存在するセルをいう。

【0045】

境界セルはセル稜上および頂点上にのみに切断点を持つ。また境界セルは、多くの場合、境界データを持つが必ずしもセル内面を持つとは限らない。図3でセルEは切断点bを持っているため境界セルとなるが、境界とこの点だけで接しているためセルの内部に境界データは存在しない。

【0046】

「つなぎセル」は、切断点を持つ点では境界セルの1種であるが、階層差部分の面上に切断点を持つことができる点が、境界セルと異なる。

図3でセルB, C, H, Kが階層差の生じる部分の大きいセルに該当する。このうち、セルBは切断点を持たない非境界セルである。また、セルKは切断点を持つが、この切断点は階層差の生じる面にはないため境界セルである。この図ではセルC, Hのみが、切断点が階層差の生じる面にあり、つなぎセルである。

(切断点の位置)

切断点は、セル稜上、セル頂点上、及びつなぎセルの場合、セル面上に配置される。図3の例では、切断点aは、つなぎセルC側から見るとセル面上の切断点であり、小さいセルFから見るとセル稜上の切断点である。切断点bは、つなぎセルH側からみるとセル面上の切断点であり、小さいセルE, Gから見ると頂点上の切断点である。その他の切断点は、全てセル稜上の切断点となる。

【0047】

なお、図3は2次元で表現しているので、つなぎセルC, Hの切断点が稜上か面上かわかりにくい、図4のC2のように3次元では面上に位置する。

図4は、つなぎセルを3次元で示す図である。この図において、切断点C2は小さいほうのセルから見るとセル稜上に位置する切断点となるが、左側の大きいセルからみたとき、

この位置はセル面上に位置する。この切断点の存在を大きいセル側で表現するためにこのセル面上に切断点を置くことができるようにしたのが、「つなぎセル」である。

【0048】

同様に切断点C4は4つの小セルにおいてはそれぞれの頂点上に位置する切断点となるが、この図では省略しているその右側の大きいつなぎセルにおいて面上の切断点となる。

図5は、セルの探索順序を示す図である。この図に示すように、探索の基本的な順番は、セル(X, Y)の部分でまずXの部分を増加させる方向で隣へ移動していき、端までたどり着いたらXをリセット(0にする)して、Yを1増やす。図6は、非境界セルの最初の番号設定の説明図である。この図に示すように、先ず最初の非境界セルAに番号(この場合、1)をつける。この図ではセルの真中に書いているが実際には各頂点に番号を付ける。この番号を「カレント番号」として覚えておく。

10

【0049】

図7は、非境界セルの次の番号設定の説明図である。この図に示すように、非境界セルBの場合、カレント番号(この場合、1)と隣接セルに設定されている番号を調べ、それらの番号のうち一番小さい番号(この場合、1)を付ける。

図8は、境界セルCの最初の番号設定の説明図である。この図に示すように、境界セルCの場合、隣接セルAに番号(この場合、1)が付けられている場合、隣接セルと共有位置にある頂点にのみ番号(この場合、1)をつける。また境界にきたので「カレント番号」を次の番号2とする。更に、「使用済み番号」として2を記憶する。

図9は、非境界セルDの次の番号設定の説明図である。カレント番号は2となっているが、この図に示すように、隣接セルA, B, Cに1が設定されているセルがあるので、ここでは1をセットする。このとき、「カレント番号」を1にするとともに、変換テーブルに「2→1」という変換情報を記録しておく。

20

【0050】

図9の手順でカレント番号が1に戻るが、2は別のところで使用している可能性がある。この今は使っていないが過去に使った可能性がある番号というのは「カレント番号」だけを見てはわからない。また、登録済みの全てのセルを調べればわかるが、それは効率が悪い。そのため、効率UPのために使用済みが何番までかを「使用済み番号」として記憶する。

図10は、境界セルEへの最初の設定の第2のパターンである。この境界セルEは左と下の隣接セルD, Bから3つの頂点への番号設定が可能だが、右上の頂点のみ不明となる。また、境界セルであるため、図6と同様、カレント番号、使用済み番号をそれぞれ新たにセットする。ここでは1つの境界セルごとにそれぞれ番号を付け替えることにし、上の5つの境界セルE, F, G, H, Iで5つ増え、カレント番号は1のままだが、使用済み番号は7になる。

30

【0051】

図11は、境界セルJへの初期設定の第3のパターンである。上から2番目左端の境界セルJは回りに番号が付けられているセルがないため、全ての頂点の番号は不明のままとなる。この場合もカレント番号の付け替えが行われるので、カレント番号が8、使用済み番号も8となる。

40

図12は、新しい非境界セルKへの番号の設定の説明図である。非境界セルKは、周りに若い番号がセットされている非境界セル、或いは共有切断点に番号がセットされている境界セルが存在しないため、カレント番号(この場合、8)をセットする。またこの時点では、周りの境界セルと共有する頂点において、境界セル側の頂点への媒質番号の設定は行わない。

【0052】

図13は、残りのセルの番号付けの説明図である。残りのセルに対して今までの場合と同様にわかる範囲で頂点に番号をつけていく。ここまですら簡単に付けられる範囲で全てのセル(の頂点)に番号を付けることができた。

図14は、設定済みの周りの値から不明箇所への番号付けの説明図である。設定済みの番

50

号、セル内面の位置を元に不明頂点に番号をつけていく。

【0053】

左端、下から2番目のセルCに着目する。番号不明の頂点は左上と右上の2点である。このうち左上の頂点は、隣接頂点2箇所のうち片方（左下の頂点）に番号がセットされており、その2頂点を結ぶ稜上には切断点はない。したがって、この2つの頂点は同じ領域に所属するとみなして、番号1をセットする。

【0054】

右上の頂点は、隣接頂点2箇所に番号（左上はすぐ上のステップで番号が付けられた）がついているが、それらの2頂点を結ぶ稜上に切断点があるので、これらの頂点とは別の領域に所属することになるため、その番号は付けられない。

【0055】

次に隣接セルを調べる。右隣、右斜め上、上の3つのセルF, J, Kで頂点を共有するが、番号がつけられている頂点は右斜め上のセルK（番号8）のみである。従ってこの番号をセットする。

【0056】

なお、2次元で説明しているので面上の切断点は省略している。面上切断点の部分の例は後述する。

図15は、頂点切断点部分への番号付けの説明図である。この図では、小さいセルのうちの右下のセルEの番号不明頂点への番号付けを説明する。

【0057】

このセルEで番号がつけられていない頂点は右上の頂点のみでこの頂点には切断点に乗っている。このセルEで残りの頂点には全て1がセットされている。このセルにはセル内面が存在しないことから、右上の頂点と他の頂点は全て同一領域に含まれるとみなし、右上の頂点にも他の頂点と同じ1をセットする。

小さいセルのうち、右上のセルGの番号不明頂点への番号付け。

このセルGは切断点の乗っていない番号不明の頂点と切断点の乗っている番号不明の頂点がある。切断点の乗っていない点は頂点を共有する隣接セルとの比較から8をセットすればよいことがわかる（左上の頂点は上或いは左のセルの頂点から判断、右上の頂点は番号がセットされた同一セルの左上の頂点から或いは上のセルから）。

【0058】

なお、セル内面の位置、稜上切断点の関係から、このセルGで唯一番号がついている左下の頂点と残りの頂点が同一領域に含まれるとはいえないため、1は付けられない。右下の切断点がある頂点は、切断点があるためにこの切断点位置が領域の境界であり、隣接セルと同じ番号を付ければよいとはいえない。そこでこの頂点を通るKTC面の向きを調べる。KTC面の向きでは8番の媒質の方向の領域が広いのでこの頂点は8番に含める。

図16は、面上点周辺の番号の付け方の説明図である。この図では、大きいセルの方は1部省略しているが、漏斗形状を表現しているKTC面（境界データ）を考える。左の大きいほうが漏斗の口、右側の小さいセルの中心に位置するように細い部分が位置する形になっている。

【0059】

図15までで例示してきた手順で周りのセルの頂点を調べることで、漏斗の外側に位置する頂点の番号は見つけることができるが、漏斗の内側は隣接との間に全て切断点が存在するため番号を特定することができない。

図17は、外側の頂点の番号（開いた口の部分で番号1、筒の部分の外側を2番としている）である。

【0060】

図18は、漏斗内側の番号の決定の説明図である。頂点aに注目する。この頂点aはつなぎセルAの面上に位置する。この点を含む面の対面のセル面の4墨の頂点bに注目し、その4頂点bと頂点aをそれぞれ矢印線で結ぶ。これらの線とKTC面（境界データ）が交差しなければその線の先にある頂点bと頂点aは同じ領域に属することになるので、相手

10

20

30

40

50

の頂点と同じ番号をつける。この例では頂点 a は 1 番となる。

【0061】

4 頂点全てが別領域である場合、そのセルの他のつなぎ面（境界セルをつなぎセルと位置付ける元になった面上切断点を持つ面のこと）の面上にある隣接セルの頂点を探しそれらと線を結び、同一領域にある頂点を探す。

図 19 は、残りの頂点の番号決定の説明図である。つなぎセル A との境にある頂点 a の番号が 1 と決まれば、後は各小セルだけで、頂点の隣接関係を調べるだけで順番に残りの頂点（図 17 における頂点 c）も 1 番と決まる。

なお、本発明は上述した実施形態に限定されず、本発明の要旨を逸脱しない範囲で種々変更できることは勿論である。

10

【0062】

【発明の効果】

上述した本発明の方法によれば、セル分割ステップ（B）ですべての外部データ 12 を境界平面が直交する直方体セル 13 に分割し、セル区分ステップ（C）で分割された各セルを境界セル 13 a と非境界セル 13 b とに区分するので、外部データ 12 は仮に境界情報の不備があっても、必ず境界セル 13 a 又は非境界セル 13 b に区分される。

また、直方体セル 13 は、元の境界データに比べて大きいので、境界データの一部（例えば 1 点）のみを含むものを境界セル 13 a とすることにより、境界データは必ず境界セル 13 a に含まれる。更に、データの欠落等、境界情報に不備があっても、その欠落の大きさが直方体セル 13 の大きさより小さい限り、欠落を含む境界データも必ず境界セル 13 a に含まれる。

20

したがって本発明の方法とそのプログラムは、境界情報の不備に対して頑健であり境界情報に不備があっても識別ができ、処理時間が短く高速であり、計算機への実装が容易であり、異なる空間が一つの空間に分類されてしまうおそれが少なく、多重空間にたいしても適用可能である、等の優れた効果を有する。

【0063】

これによって、（1）構造解析、大変形解析、熱・流体解析、流動解析、除去加工、付加工、変形加工のシミュレーション、（2）人体などの生体と人工物が混在するもののシミュレーション、検査、人工物に対する設計、加工、（3）地殻や建造物などの自然物と人工物が混在する場合の設計、解析、加工、組立て、検査など様々な応用が可能となる。

30

【図面の簡単な説明】

【図 1】 本発明の多媒質データの識別方法のフロー図である。

【図 2】 2 次元における空間区分ステップ（D）の模式図である。

【図 3】 セルの種類と切断点の位置付けを示す図である。

【図 4】 つなぎセルを 3 次元で示す図である。

【図 5】 セルの探索順序を示す図である。

【図 6】 非境界セルの最初の番号設定の説明図である。

【図 7】 非境界セルの次の番号設定の説明図である。

【図 8】 境界セル C の最初の番号設定の説明図である。

【図 9】 非境界セル D の次の番号設定の説明図である。

40

【図 10】 境界セル E への最初の設定の第 2 のパターンである。

【図 11】 境界セル J への初期設定の第 3 のパターンである。

【図 12】 新しい非境界セル K への番号の設定の説明図である。

【図 13】 残りのセルの番号付けの説明図である。

【図 14】 設定済みの周りの値から不明個所への番号付けの説明図である。

【図 15】 頂点切断点部分への番号付けの説明図である。

【図 16】 面上点周辺の番号の付け方の説明図である。

【図 17】 外側の頂点の番号である。

【図 18】 漏斗内側の番号の決定の説明図である。

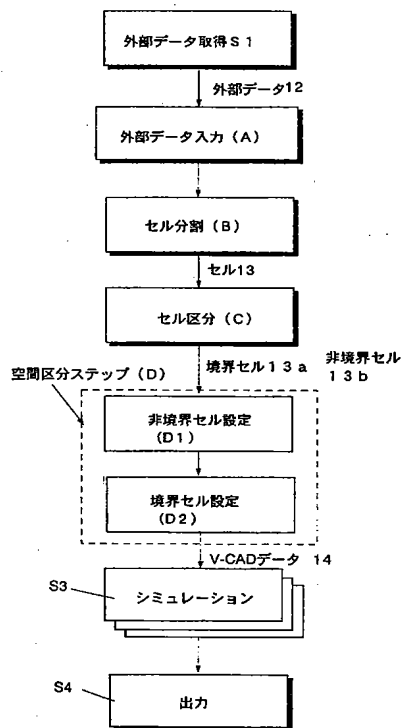
【図 19】 残りの頂点の番号決定の説明図である。

50

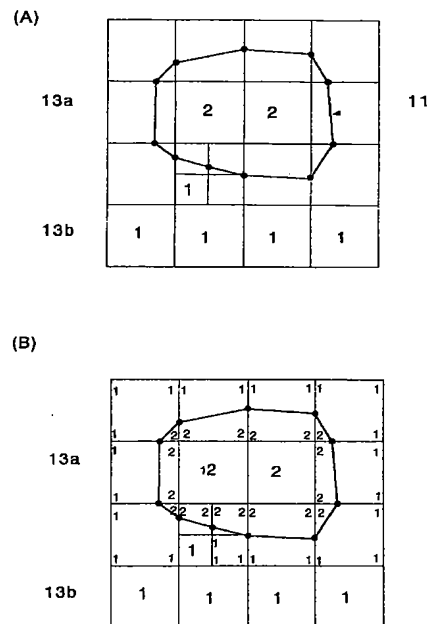
【符号の説明】

- 1 1 境界データ、1 2 外部データ、
 1 3 セル、1 3 a 境界セル、1 3 b 非境界セル、
 1 4 V-CADデータ

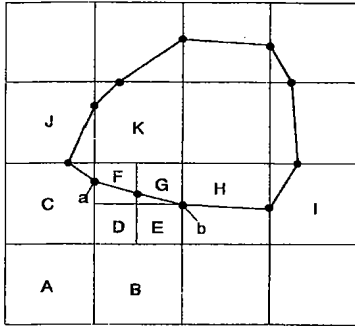
【図 1】



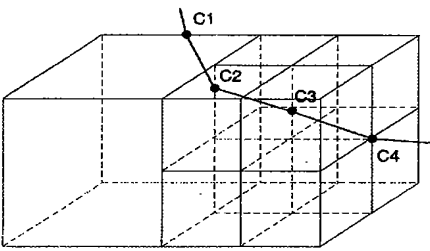
【図 2】



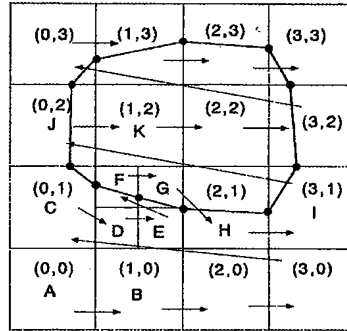
【図 3】



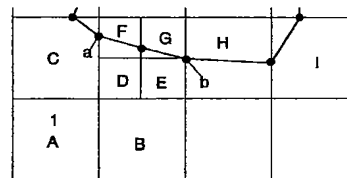
【図 4】



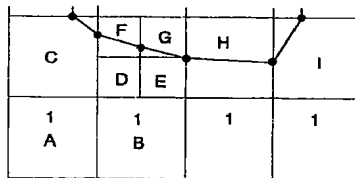
【図 5】



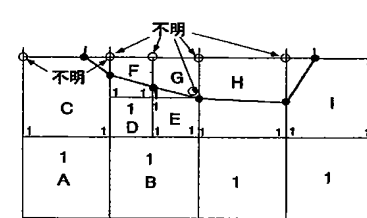
【図 6】



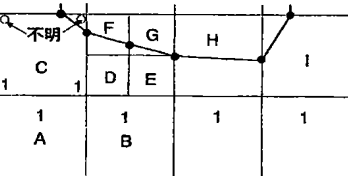
【図 7】



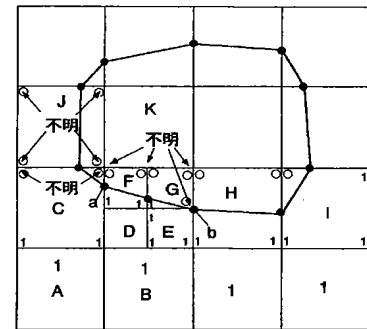
【図 10】



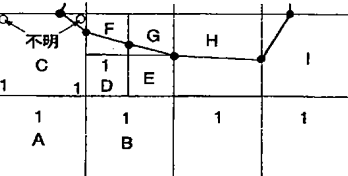
【図 8】



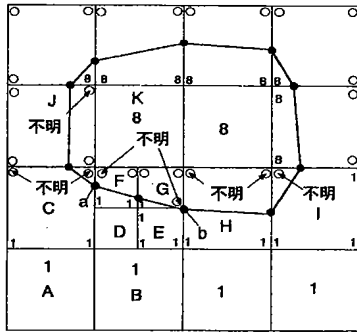
【図 11】



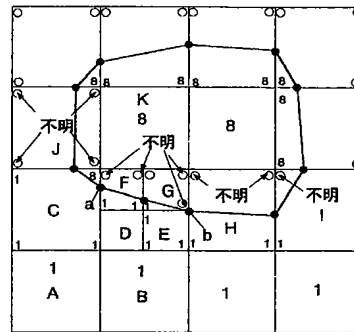
【図 9】



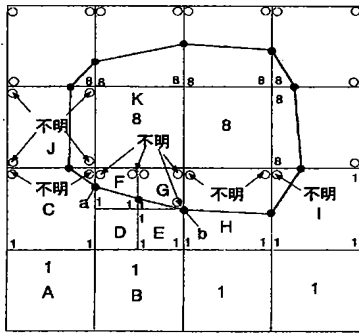
【図 1 2】



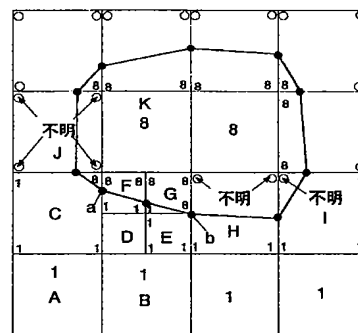
【図 1 4】



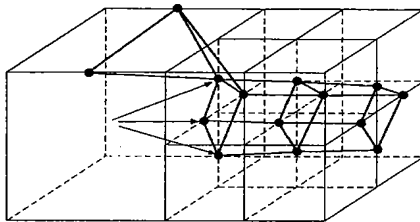
【図 1 3】



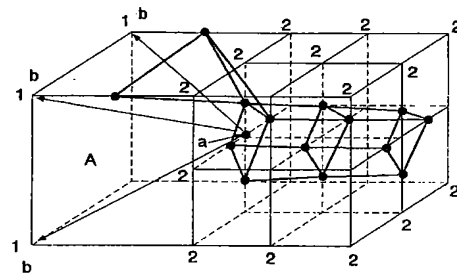
【図 1 5】



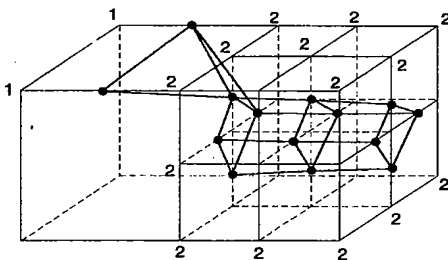
【図 1 6】



【図 1 8】



【図 1 7】



【図 1 9】

